

CUANTIFICACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA DEL CULTIVO DE ARROZ EN DOS ZONAS PRODUCTORAS DE PERÚ

ARROZ DE RIEGO EN PERÚ COMPETITIVO Y EFICIENTE EN EL USO DE AGUA MEDIANTE AGRICULTURA CLIMÁTICAMENTE INTELIGENTE

Elaborado por:

Miguel Romero

Leidi Sierra

ALIANZA BIODIVERSITY INTERNACIONAL Y EL CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL – CIAT
CLIMATE CHANGE, AGRICULTURE AND FOOD SECURITY – CCAFS

AGROECOSISTEMAS Y PAISAJES SOSTENIBLES

PALMIRA, MARZO 2020

INTRODUCCIÓN	3
Objetivo de investigación	4
METODOLOGÍA	4
Estándares y Guías	4
Límites del sistema	4
Límite geográfico	5
Límite temporal	6
Unidad funcional	6
Inventario de datos para la cuantificación de la huella hídrica	9
Cuantificación de la huella hídrica del cultivo	12
Cuantificación de la huella hídrica verde y azul	12
Cuantificación de la huella hídrica gris	13
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	14
Uso de agua de riego y precipitación	14
Evapotranspiración	17
Percolación profunda y pérdidas de agua	18
Huella hídrica azul (HH azul)	20
Huella hídrica verde (HH verde)	22
Huella hídrica gris (HH gris)	23
Huella hídrica total	24
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	26
BIBLIOGRAFÍA	28

INTRODUCCIÓN

Debido al aumento de la población, la urbanización, la industrialización y el cambio climático, se precisa que una mejora de la eficiencia en el uso del agua vaya acompañada de una reasignación del agua en las regiones con estrés hídrico que oscile entre un 25% y un 40%, lo que, en la mayoría de los casos, se prevé que esta reasignación provenga de la agricultura debido a su elevada participación en el consumo de agua a nivel mundial (Banco Mundial, 2019). Aunque el Perú se posiciona como uno de los países con mayor disponibilidad del recurso hídrico, también es uno de los países más vulnerables en cuanto a disponibilidad se refiere (Bernex *et al.*, 2017).

Sumada a esta presión, los fenómenos climáticos extremos se hacen cada vez más frecuentes, generando periodos de sequía más intensos y prolongados en diferentes regiones del planeta. Estos fenómenos extremos tienen un mayor impacto sobre los sectores estrechamente vinculados al clima y a la alta demanda de agua como lo son la agricultura bajo riego (ONU, 2014). En el caso del Perú, este sector consume cerca del 89% del agua disponible, seguido en menor magnitud por el sector energético y consumo humano (FAO, 2015).

El arroz es un componente esencial en la canasta básica familiar en el Perú y su creciente demanda interna lo ha llevado a ser el primer producto agrícola con mayor área sembrada y cosechada en el país con cerca de 447.000 hectáreas de las cuales el 87% se manejan bajo sistemas de irrigación (MINAGRI, 2018). Además del alto uso del recurso hídrico del arroz en Perú, existe preocupación por la afectación de la calidad del agua por la continua aplicación de insumo agroquímicos (MINAGRI, 2018).

Aunque la incorporación del riego en el cultivo genera un incremento significativo en la productividad, alcanzando hasta 16 ton/ha en regiones del Perú como Piura y Arequipa, en algunos escenarios el manejo del cultivo no es rentable dados los altos costos de producción, la implementación de labores poco eficientes, y la elevada extracción de agua para riego, las cual puede llegar a ser de hasta 15 veces más alta en comparación a otros cultivos (Altamirano, 2018). Por esta razón se hace necesario conocer los impactos sobre los cuerpos de agua asociados al cultivo y formular estrategias de uso más eficiente del agua.

En un contexto de gestión integral del agua no solo es suficiente identificar usos directos del agua sino además caracterizar la cadena de suministro completa, todo esto permite asociar los impactos ambientales de un sistema productivo a una unidad de producto de consumo y así mejorar la comprensión del carácter global del agua dulce.

La Huella Hídrica (HH) es un indicador de sostenibilidad que permite determinar el impacto del sector agropecuario en el medio ambiente, al cuantificar y evaluar el volumen de agua utilizada directa o indirectamente en un proceso productivo, discriminando los posibles usos que se dan al recurso hídrico y el impacto de las diferentes prácticas de manejo. La evaluación de este indicador, además de cuantificar la magnitud del uso de los recursos naturales, permite identificar los puntos críticos de mayor impacto y así

identificar los riesgos potenciales a los cuales se enfrenta el sector y, sobre estos, generar y validar diferentes estrategias que permitan desarrollar sistemas más eficientes y ambientalmente sostenibles.

Objetivo de investigación

Cuantificación de la huella hídrica en el cultivo de arroz en dos zonas productoras del Perú.

Objetivos Específicos:

- Cuantificar el uso y consumo de agua en el cultivo de arroz bajo irrigación.
- Determinar los impactos en uso de agua lluvia y de riego, y determinar el grado de afectación de las prácticas de manejo en los cuerpos de agua fuentes y receptores.
- Identificar los puntos críticos de mayor consumo.
- Proponer estrategias de usos más eficiente del agua en el cultivo.

METODOLOGÍA

La cuantificación de huella hídrica depende en gran medida de la disponibilidad de información a incluir en el análisis, la mayoría de los casos la información local es limitada y se debe recurrir a fuentes secundarias que pueden aportar un nivel de incertidumbre alto, lo que significa que los resultados deben ser interpretados con cautela. Para cada procedimiento de cuantificación de huella hídrica y emisiones del suelo es relevante formular e implementar una metodología adecuada de mediciones directas en cultivo que generen información de todos los procesos involucrados en la obtención del producto. El análisis de información generada de forma local, bajo condiciones específicas, va a permitir generar o validar estrategias o planes de acción más efectivos a condiciones locales (Romero et al., 2016).

Estándares y Guías

Para la cuantificación de la huella hídrica en el cultivo de arroz se utilizó como documento guía el estándar “The Water Footprint Assessment Manual” (Hoekstra et al., 2011b). Según la Water Footprint Network (WFN), la huella hídrica se define como el volumen total de agua dulce usado por personas, empresas o países para producir, consumir o utilizar bienes y servicios. Este indicador tiene en cuenta los usos directos e indirectos del agua y tiene especificidad espacio-temporal (Franke et al., 2013; Hoekstra et al., 2011b).

Límites del sistema

Los límites del sistema definen los procesos unitarios que serán incluidos en el análisis, el espacio geográfico y temporal del estudio y las cargas ambientales a ser evaluadas. En el caso de huella hídrica, para la producción de arroz, se han considerado únicamente la fase de cultivo hasta la obtención de arroz paddy. Las etapas de poscosecha, distribución, consumo y disposición de residuos quedan fuera del alcance del presente estudio. El enfoque utilizado se le conoce como “De la cuna a la puerta” (“Cradle to gate”).



Límite geográfico

El estudio de huella hídrica en este proyecto se limitó geográficamente a dos regiones productoras de arroz en Perú (costa y selva), en un predio ubicado en la zona productora de arroz del departamento de Amazonas (Utcubamba) y dos predios en el departamento de Lambayeque (uno en Chiclayo y otro en Chongoyape).



Figura 1. Ubicación de parcela experimental en el fundo El Valor de la Hacienda el Potrero, ubicado en el Departamento de Amazonas, Provincia de Utcubamba, Distrito El Milagro, Centro Poblado El Valor.



Figura 2. Ubicación de parcela experimental en la estación experimental del INIA, en el Departamento de Lambayeque, Provincia de Chiclayo.



Figura 3. Ubicación de parcela experimental en el Departamento de Lambayeque, Provincia de Chongoyape.

Límite temporal

El límite temporal corresponde al periodo de colecta de información. Ello quiere decir que los indicadores de impacto ambiental analizados en el cultivo de arroz fueron representativos a las prácticas de manejo del cultivo y la tecnología desarrollada para este periodo. En la provincia de Utcubamba fueron evaluados tres ciclos productivos, mientras que en las provincias de Chiclayo y Chongoyape fue evaluado un único ciclo (Tabla 1).

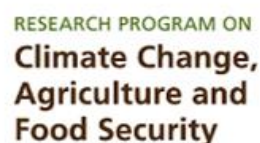
Tabla 1. Fechas de siembras en cada localidad

Provincia	Siembra almacigo	Siembra campo	Cosecha
Utcubamba - C1	1 Diciembre 2018	28 Diciembre 2018	22 Abril 2019
Utcubamba – C2	3 Mayo 2019	5 Junio 2019	14 Septiembre 2019
Utcubamba – C3	5 Septiembre 2019	12 Octubre 2019	7 Febrero 2020
Chiclayo	29 Diciembre 2018	25 Enero 2019	6 Junio 2019
Chongoyape	9 Agosto 2019	12 Septiembre 2019	8 Enero 2020

Unidad funcional

La unidad funcional representa la función principal del sistema en estudio y proporciona una referencia para que todas las entradas y salidas del sistema puedan ser normalizadas. En el presente trabajo se utilizó como unidad funcional 1 tonelada de arroz paddy.

Alianza



Caracterización de los predios:

Los tres predios evaluados correspondieron a sistemas de manejo de trasplante bajo inundación, en el cual los lotes fueron regados a partir de una única entrada de agua desde un canal principal. En el caso del predio ubicado en la Provincia de Utcubamba, el lote en evaluación se manejó con riego en pozas, con una única entrada de agua y sin salidas, mientras que en los predios en Chiclayo y Chongoyape (Lambayeque) el riego manejado fue bajo inundación, con una entrada de agua y una salida en cada lote evaluado, la cual puede alimentar lotes cercanos o finalizar en los canales de drenaje.

Durante el ciclo de cultivo se realizó la recolección de información de manejo referente a la aplicación de insumos, datos de rendimiento y porcentaje de humedad del arroz cosechado (Tabla 2).

Tabla 2. Aplicación de nitrógeno, fósforo y pesticidas en las parcelas de evaluación

Provincia	Campaña	Nitrógeno (kg)	Fósforo (kg)	Plaguicidas (kg IA*)	Rendimiento (ton/ha)	Humedad (%)
Utcubamba	1	286	83	1,6	8,49	15,8
	2	180	40	2,2	9,09	24,3
	3	189,2	60	0,89	9,6	16,8
Chiclayo	1	249	69	1,86	9,01	16,4
Chongoyape	1	312	72,1	0,98	13,02	15,6

IA: Ingrediente activo

La información climática fue recolectada de estaciones climáticas cercanas a las parcelas. En el caso de Utcubamba se utilizó la información de una estación climatológica instalada previamente en el predio. En Chiclayo, la información se obtuvo de la estación SIAP+MICROS presente en los campos del INIA, sin embargo, se encontraron algunos datos vacíos e inconsistentes los cuales fueron complementados con información de la estación LAMBAYEQUE de SENAMHI (6°43'53.5"S, 79°54'35.41" W). Para el caso de Chongoyape los datos climáticos fueron obtenidos de la estación TINAJONES de SENAMHI (6°39'17.6" S, 79°25'40.51" W).

Las características hidráulicas del suelo para las parcelas de evaluación se estimaron a partir de los datos de textura cuantificados en análisis de suelos colectados previamente y empleando el programa Soil Water Characteristics (SWC) de la USDA (Tabla 3).

Tabla 3. Características hidráulicas de suelo

Parámetro	Utcubamba	Chiclayo	Chongoyape
Textura	Franco	Franco Arcilloso	Franco
Punto de marchitez (% Vol)	15,4	18,7	15,7
Capacidad de campo (% Vol)	30,0	29,7	27,1
Saturación (% Vol)	40,4	40,4	40,4
Agua disponible (cm/cm)	0,15	0,11	0,11
Conductividad hidráulica saturada (mm/h)	3,22	3,12	6,09

Alianza



En cada lote evaluado en las tres localidades se realizó el levantamiento del área de los lotes, importante a la hora de cuantificar la huella hídrica, debido a que si se desea calcular el consumo de agua por unidad producida es necesario llevar los datos a términos de hectárea y luego a rendimiento por hectárea (Figura 4, 5 y 6).



Figura 4. Parcelas de evaluación en la Provincia de Utcubamba.



Figura 5. Parcela de evaluación en la Provincia de Chongoyape.



Figura 6. Parcela de evaluación en la Provincia de Chiclayo.

Inventario de datos para la cuantificación de la huella hídrica

Previo a la estimación de la huella hídrica es imprescindible implementar un balance de agua, de forma que a partir de las entradas y salidas de agua al sistema se pueda calcular el consumo de agua. En el caso del impacto por contaminación de cuerpos de agua, se estimó a partir de la cantidad de insumos agroquímicos aplicados. A continuación, se presentan las herramientas para la colecta de datos en campo y así cuantificar los distintos componentes del balance hídrico, donde se incluyen las entradas de agua al sistema más representativas como lo son la precipitación y riego y las salidas de agua en forma de evapotranspiración, escorrentía y percolación profunda. Con el fin de cuantificar el uso y consumo de agua en el sistema a través de las huellas azul verde y gris, se realizó el siguiente esquema de medición (Figura 7).

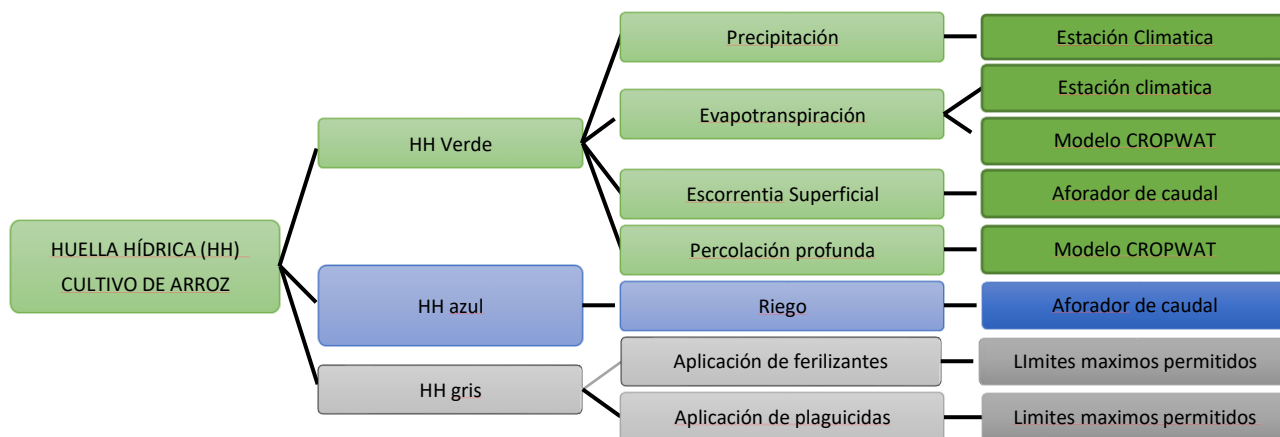


Figura 7. Esquema de parámetros cuantificados según el tipo de huella

Entradas de agua:

Precipitación: Con el fin de determinar la lámina de agua que ingresa al sistema por precipitación, en cada predio fue instalado un pluviómetro de registro automático, los cuales fueron programados para coleccionar información de precipitación cada minuto durante los ciclos productivos evaluados. La precipitación usualmente se expresa en términos de lámina de agua (mm). Para expresar en términos de m^3/ha , el valor obtenido debe ser multiplicado por 10 (Figura 8).



Figura 8. Pluviómetro instalado en las parcelas experimentales.

Riego: Ya que el sistema de riego predominante fue por inundación, en el que el agua ingresó a los lotes por gravedad, fueron instalados aforadores de caudal tipo canaleta RBC a entrada y salida de cada lote. El agua, al pasar por un aforo con entrada de sección transversal conocida y graduada, tiene una altura sobre este que permite traducir directamente en un caudal en l/s. Las lecturas de caudal (l/s) son multiplicadas por el tiempo entre intervalos de medición y la sumatoria de los diferentes caudales es el total de agua que ingresa al lote en l o m³. Al conocer el área de influencia del riego se determinó la lámina de riego aplicada (Figura 9).



Figura 9. Adecuación e instalación de un aforo tipo RBC de caudal de agua de entrada

Salidas de agua:

Escorrentía superficial: Esta corresponde a la fracción de la precipitación o riego que no se infiltra ni se evapotranspira, sino que circula por la superficie del suelo según la dirección de la pendiente. En el cultivo de arroz, donde se inundan los lotes en determinados periodos del ciclo productivos, fueron instalados aforos tipo RBC para cuantificar el agua que sale de los lotes por escorrentía.

Evapotranspiración: La evapotranspiración (ET) es el principal componente dentro del consumo de agua de un cultivo siendo la mayor parte del agua absorbida por las raíces y una menor fracción es usada dentro de la planta o incorporada en los tejidos (FAO, 2006). La ET es la combinación de dos procesos separados por los que el agua se pierde en la superficie del suelo por evaporación y, por otra parte, mediante transpiración del cultivo. En las primeras etapas del cultivo, el agua se pierde principalmente por evaporación directa del suelo, pero con el desarrollo del cultivo y finalmente cuando este cubre totalmente el suelo, la transpiración se convierte en el proceso principal (FAO, 2006).

Para su estimación, se utilizó el programa CROPWAT de la FAO, el cual es un aplicativo de uso libre que permite hacer un balance hídrico para un sitio y cultivo específico. Para su funcionamiento se requiere información climática y de suelos, así como de parámetros básicos del cultivo, como la duración de las etapas de crecimiento y los coeficientes de cultivo. Con la información de clima inicialmente se calcula la ET₀ y, con la información de

suelos, riego y cultivo, estima un balance hídrico que permite calcular la ET. Posteriormente, empleando los datos de riego, el programa permite ajustar los datos de ET según el agua que ingresa al cultivo (Allen et al., 2006) (Figura 10).

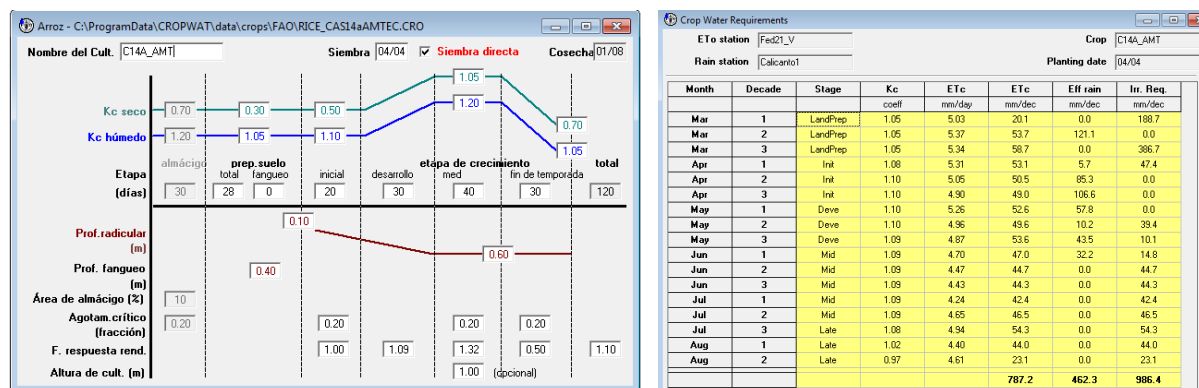


Figura 10. Estimación de la evapotranspiración mediante Cropwat

Cuantificación de la huella hídrica del cultivo

A partir de los lineamientos de la WFN, la determinación de huella hídrica de un proceso incluye la estimación de tres componentes: huella hídrica azul (HH azul), huella hídrica verde (HH verde) y huella hídrica gris (HH gris). La HH azul es la cantidad de agua extraída de un cuerpo de agua superficial o subterránea que se utiliza en un proceso, se evapora o se incorpora en un producto. La HH verde es la cantidad de agua lluvia que se utiliza en un proceso, se evapora o se incorpora en un producto (en el suelo se almacena como humedad). La HH gris es el volumen de agua requerido para diluir los contaminantes generados en un proceso hasta alcanzar la calidad exigida por las regulaciones locales (Romero et al., 2016).

La cuantificación de la HH total del sistema de producción de arroz corresponde a la HH directa del sistema en las etapas que lo integran:

$$HH_{fase\ de\ cultivo}(L/kg) = HH_{Verde}_{cultivo} + HH_{Azul}_{cultivo} + HH_{Gris}_{cultivo}$$

Cuantificación de la huella hídrica verde y azul

Debido a que el cultivo de arroz cuenta con dos tipos de ingreso de agua al sistema, el agua consumida por evapotranspiración es asignada de manera proporcional al ingreso de agua lluvia y al ingreso de agua de riego.

$$HH_{verde}(l/kg) = \frac{ET_{agua\ verde} + Incorporación}{Rendimiento}$$

$$HH_{azul}(l/kg) = \frac{ET_{agua\ azul} + Incorporación + Evaporación\ agua\ azul}{Rendimiento}$$

El volumen de agua incorporada al producto puede despreciarse, al ser una cantidad mínima en relación con el agua evapotranspirada por el cultivo, la cual se compone de:

$$ET (m^3) = ET_{agua\ verde} (m^3) + ET_{agua\ azul} (m^3)$$

Ya que en el cultivo de arroz se presenta una salida elevada de agua por escorrentía, la cual no se refleja en ningún componente de la HH azul, fue calculado el indicador de escasez de agua azul (Hoekstra, et al., 2012), el cual refleja la escasez temporal de agua que es extraída de un caudal. El indicador resulta de dividir el agua de riego que no se usó (extraído y retornado a la cuenca, por ejemplo, escorrentía superficial)

Cuantificación de la huella hídrica gris

En los sistemas agrícolas la principal fuente de contaminación de agua es difusa, vía aplicación de fertilizantes al suelo, de esta forma se hace dispendioso cuantificar y cualificar directamente el agua que sale del sistema. Para el cálculo de la HH gris en este caso, la carga (L) está determinada por un factor beta (β) que determina la fracción de lixiviación del compuesto y la cantidad de producto químico aplicado al suelo (Appl) (Franke et al., 2013).

$$L = \beta \times Appl \left(\frac{masa}{\acute{a}rea} \right)$$

$$HH_{gris} = \frac{\beta \times Appl}{C_{max} - C_{nat}} \times \frac{1}{Rendimiento} \left(\frac{Volumen}{masa} \right)$$

La concentración natural del contaminante (C_{nat}) es la concentración que debería tener en un cuerpo de agua sin alteraciones antrópicas. Las concentraciones naturales de contaminantes en el agua no se conocen con exactitud, pero se estima que son muy bajas por lo cual se asume como cero (Franke, et al., 2013). La concentración máxima permitida de un contaminante (C_{max}) hace referencia a los valores máximos de residuos de fertilizantes y plaguicidas permitidos para su descarga a cuerpos de agua de forma directa o difusa. Para el caso del presente estudio fueron usados los valores referenciados por el documento “Estándares Nacionales de calidad ambiental para agua” decreto supremo del Ministerio de Ambiente del Perú - MINAM No. 002-2008.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Uso de agua de riego y precipitación

En la siguiente tabla se presentan los valores de ingreso de agua al sistema mediante la precipitación y riego. En la Provincia de Utcubamba se evidenció que el mayor aporte en lámina de agua fue a través del sistema de riego con el 84%, 97% y 86% del total del ingreso para las campañas 1, 2 y 3 respectivamente, con valores de lámina 947,6, 653,9 y 991,4 mm, respectivamente. Para el caso de los predios evaluados en costa, en Provincia de Chiclayo el 98% del agua empleada en el sistema correspondió a irrigación, representada en una lámina 1317,0 mm, mientras que en la provincia de Chongoyape el 99% de agua usada correspondió a riego con una lámina 11817,7 mm (Tabla 4).

Tabla 4. Valores de ingreso y salida de agua al cultivo

Parcela/Campaña	Precipitación ciclo (mm)	Irrigación (mm)	Salida de agua (mm)	Ingreso neto (mm)
Utcubamba C1	179,4	947,5	-	1127,1
Utcubamba C2	14,2	653,9	-	668,1
Utcubamba C3	156,1	991,4	-	1147,4
Chiclayo	23,9	1566,5	249,8	1316,7
Chongoyape	7,3	33670,1	21852,4	11817,7

Selva- Provincia de Utcubamba

En la Provincia de Utcubamba, donde el sistema de irrigación se manejó bajo el esquema de pozas, se presentó un ingreso significativo de agua previo al trasplante, con valores entre 170 y 230 mm en todas las parcelas evaluadas en las tres campañas. Esta agua fue empleada para el llenado de las pozas.

En la campaña 1, la tasa de precipitación fue de 179 mm concentrados en dos eventos significativos de precipitación hacia la mitad y el final del ciclo, donde se evidenció una disminución en la lámina de agua que ingresó por riego. Al observar los riegos aplicados, posterior al trasplante, se realizaron 33 eventos de riego entre una y dos veces por semana, según la época, con láminas que oscilaron desde 8 mm hasta 60 mm, por día de aplicación, con un valor promedio de 20 mm, y un último riego realizado a los 100 días después de trasplante (ddt).

La segunda campaña, donde la intensidad de las lluvias fue significativamente menor (14,6 mm/ciclo), presentó una distribución quincenal de los eventos de riego. En total se realizaron 15 riegos con una frecuencia de tres veces por semana, según la época, con láminas que oscilaron entre 5 y 55 mm/día, con un valor promedio de 25 mm/día, con un último riego realizado a los 80 ddt.

En la campaña 3, la intensidad de las lluvias incrementó a una lámina de 156 mm para todo el ciclo, sin embargo, estas se presentaron bien distribuidas a lo largo del ciclo y los periodos de menor precipitación fueron alternados con evento de riego. En esta campaña, se realizaron 21 riegos con una frecuencia de una a dos veces

por semana, según la época, con láminas que oscilaron entre 9 y 80 mm/día, con un valor promedio de 30 mm, con un último riego cerca de los 110 ddt (Figura 11).

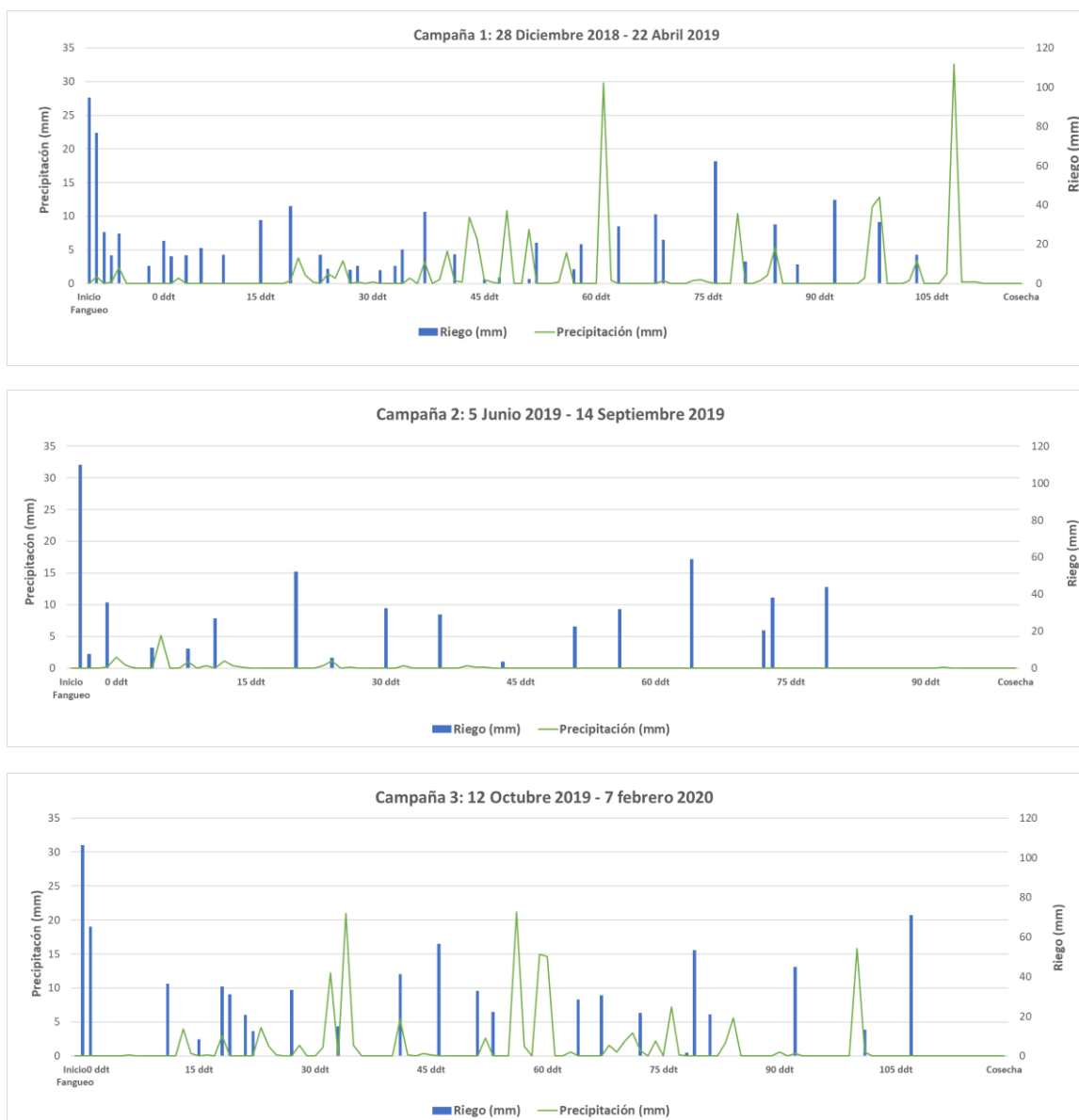


Figura 11. Tasa de precipitación y riego para tres campañas productivas en la Provincia de Utcubamba.

Costa-Provincia de Chiclayo

En la Provincia de Chiclayo, la tasa de precipitación fue de 23 mm, los cuales se presentaron en su mayoría en único evento de lluvia cerca de los 70 ddt. El sistema de cultivo, el agua fue manejada bajo el esquema de

inundación donde ingresó una cantidad considerable de agua al sistema con el fin de mantener la lámina adecuada y correspondiente a cada etapa, y parte del agua salió del sistema como escorrentía superficial.

Previo al trasplante, ingresaron al lote cerca de 300 mm en agua de riego con el fin de garantizar el fangueo. Posterior al trasplante, se realizaron 29 riegos con una frecuencia de dos a cuatro veces por semana según la época, con láminas que oscilaron entre 10 y 120 mm/día, con un valor promedio de 41 mm/día, con un último riego cerca de los 127 ddt. La lámina de salida de agua osciló entre 2 mm/día hasta 42 mm/día, con valores promedios de 8 mm/día en cada evento de riego (Figura 12).

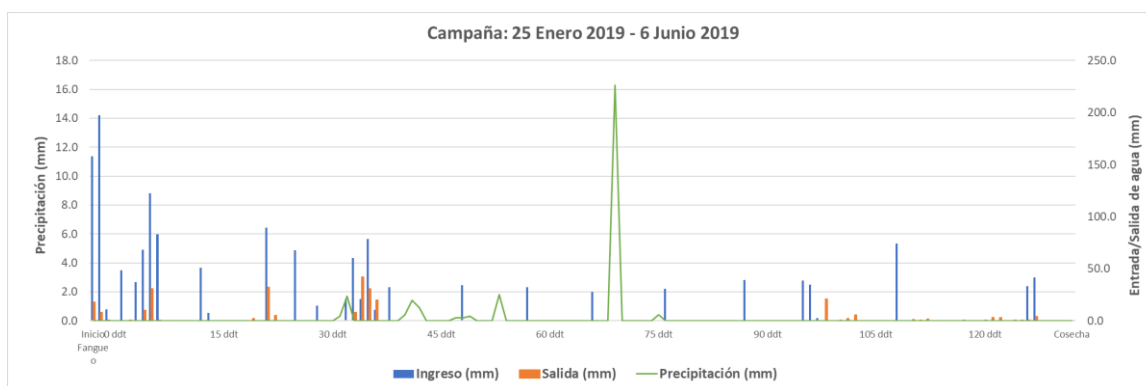


Figura 12. Tasa de precipitación y riego en una campaña productiva en la Provincia de Chiclayo.

Costa - Provincia de Chongoyape

En la Provincia de Chongoyape, la tasa de precipitación fue de 7,3 mm, los cuales se presentaron en tres eventos de 2 mm a lo largo del ciclo. Al igual que en Chiclayo, en el sistema de cultivo el agua fue manejada bajo el esquema de inundación donde ingresó una cantidad considerable de agua al sistema con el fin de mantener la lámina adecuada y correspondiente a cada etapa, y parte del agua salió del sistema como escorrentía superficial.

Previo al trasplante ingresaron al lote cerca de 2.832 mm en agua de riego con el fin de garantizar el fangueo. A diferencia de la Provincia de Chiclayo en Chongoyape el ingreso de agua al sistema fue significativamente mayor, ya que de los 118 días del ciclo del cultivo después del trasplante se realizaron riegos en 96 días, con una frecuencia casi diaria de aplicación y un último riego realizado a los 97 ddt. En la mayoría de los casos, el riego inició cerca del medio día finalizando a las 6 am del siguiente día con aplicaciones de hasta 20 horas diarias, e incluso en algunos riegos se contabilizaron ingreso de agua por más de 73 horas. Entre los 75 y 96 días el riego fue continuo día y noche. En promedio durante todo el ciclo, la lámina de ingreso de agua osciló entre 50 y 470 mm/día, con un valor promedio de 321 mm/día. La lámina de salida de agua osciló entre 20 mm/día hasta 440 mm/día, con valores promedios de 206 mm/día en cada evento de riego (Figura 13).

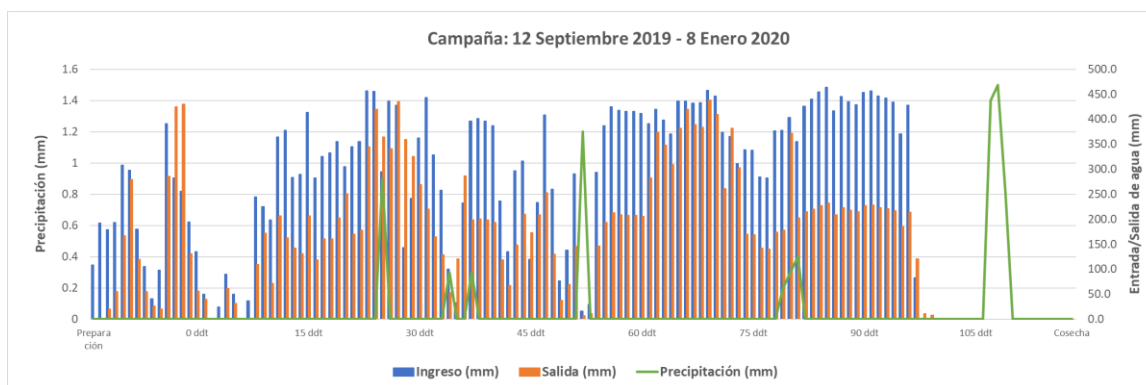


Figura 13. Tasa de precipitación y riego en una campaña productiva en la Provincia de Chongoyape.

Según estimaciones realizadas por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) se indica que el consumo de agua para la producción de arroz a nivel nacional está entre 13.300 y 15.680 m³/ha (1.330 y 1.568 mm), siendo Lambayeque Piura y la Libertad las regiones con mayor consumo de agua (Fonseca *et al.*, 2012). Ya que estos valores se construyen sobre láminas de irrigación efectiva, no consideraron las posibles pérdidas por escorrentía superficial. Por esta razón los resultados estimados pueden ser similares a sistemas donde la eficiencia del riego es alta, como el caso de Utcubamba y Chiclayo, mientras que no podrían ser comparables con los resultados obtenidos en el presente estudio en la localidad de Chongoyape, donde la salida del agua por escorrentía superficial fue considerablemente alta.

Evapotranspiración

La tasa de evapotranspiración presentó diferencias entre las provincias evaluadas siendo menor para el caso de Utcubamba con valores totales de 396,2, 289,1 y 470 mm/ciclo para las campañas 1, 2 y 3, respectivamente. En la Provincias de costa, las tasas de evapotranspiración fueron mayores, siendo 494 mm/ciclo para Chiclayo y 657 mm/ciclo para Chongoyape. Este mayor valor en la última localidad es atribuido a una mayor extracción de agua para alcanzar un rendimiento de 13 ton/ha y la mayor permanencia de lámina de agua en el cultivo (Figura 14).

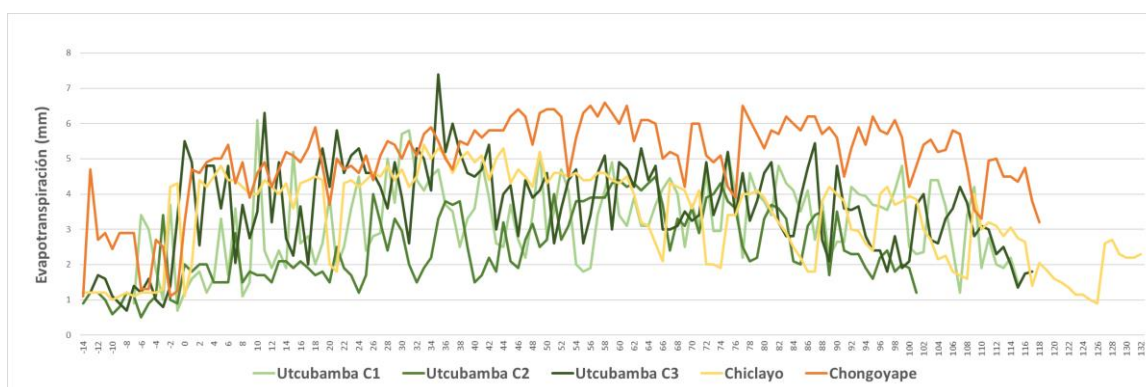


Figura 14. Tasa de evapotranspiración diaria en un ciclo productivo en las provincias evaluadas.

Percolación profunda y pérdidas de agua

En la figura 15 se presentan los valores totales de lámina de agua que ingresó por riego y precipitación comparado con las salidas de agua por evapotranspiración y la salida como pérdidas (percolación profunda y escorrentía superficial). Se evidencia que del total de agua que ingresó, menos de la mitad (35, 43, y 41% para las campañas 1, 2 y 3, respectivamente) fueron usadas por el cultivo en el proceso evapotranspirativo, siendo mayor el consumo de agua en procesos como percolación (65, 57 y 59% para las campañas 1, 2 y 3, respectivamente).

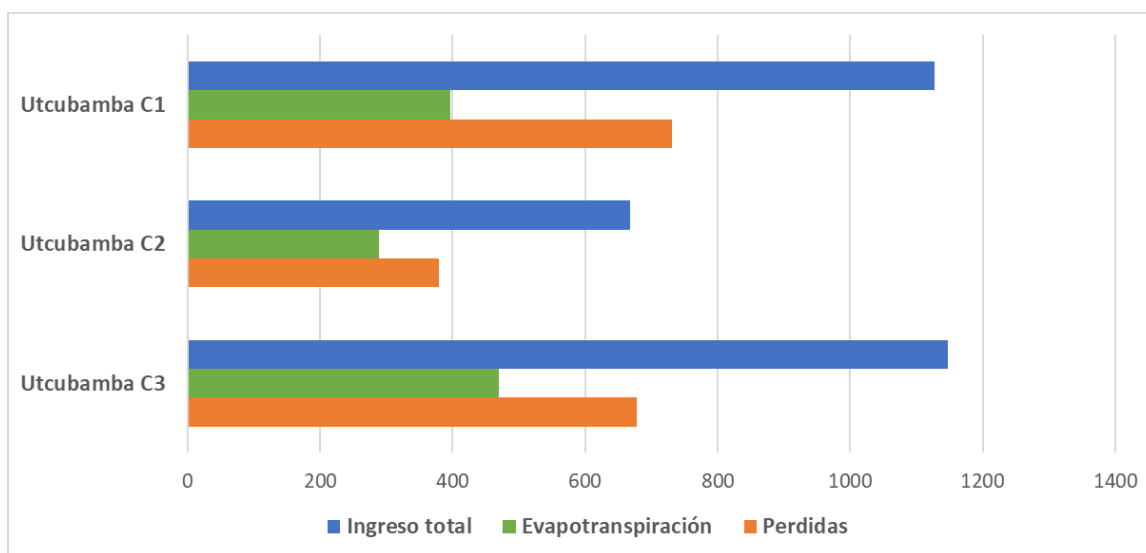


Figura 15. Ingreso de agua y salidas (mm) por Evapotranspiración, percolación y pérdidas en la Provincia de Utcubamba.

En la Provincia de Chiclayo, se observa del total de agua que ingresó al cultivo, solo el 31% fue usada en el proceso evapotranspirativo (492,6 mm). El restante 69% (1.098 mm) se distribuyó en pérdidas por escorrentía superficial (lámina de 250 mm, correspondiente al 16% del total de agua ingresada) y pérdidas por percolación profunda (lámina de 848 mm, correspondiente al 53% del total de agua ingresada), siendo este último componente un punto crítico, ya que representó la mayor asignación de agua (Figura 16).



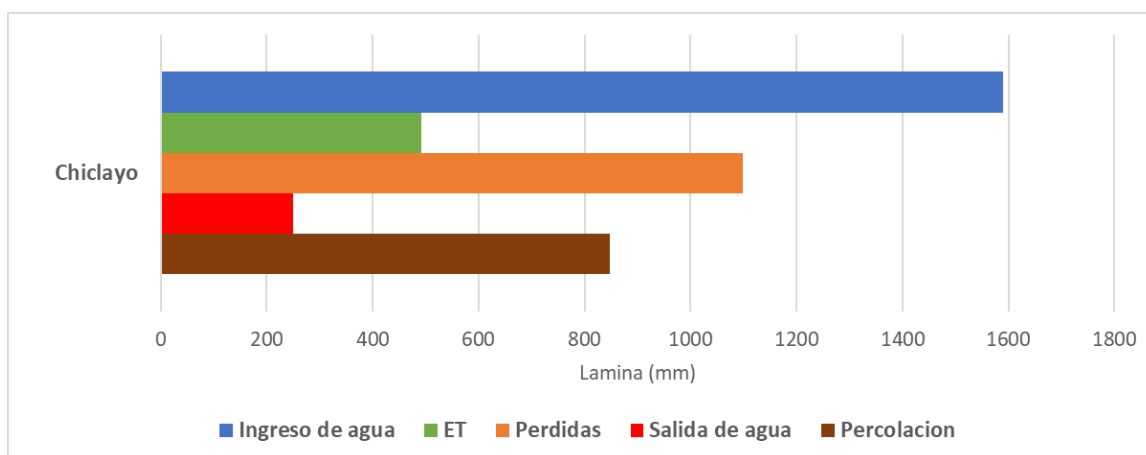


Figura 16. Ingreso de agua y salidas por Evapotranspiración, percolación y pérdidas en la Provincia de Chiclayo.

Con el fin de evidenciar la magnitud del consumo de agua comparando todas las provincias, en la figura 17 se presenta los valores de entrada y salida de agua en la parcela evaluada en la provincia de Chongoyape junto a las demás provincias. Se observa que del total de agua que ingresa al cultivo (33.677 mm), solo el 2% es usada en el proceso evapotranspirativo (662,7 mm), mientras que el 98% (33.014 mm) del total del agua ingresada se distribuyen en pérdidas por escorrentía superficial (21.852 mm) y pérdidas por percolación profunda (11.162,4 mm) (Figura 17).

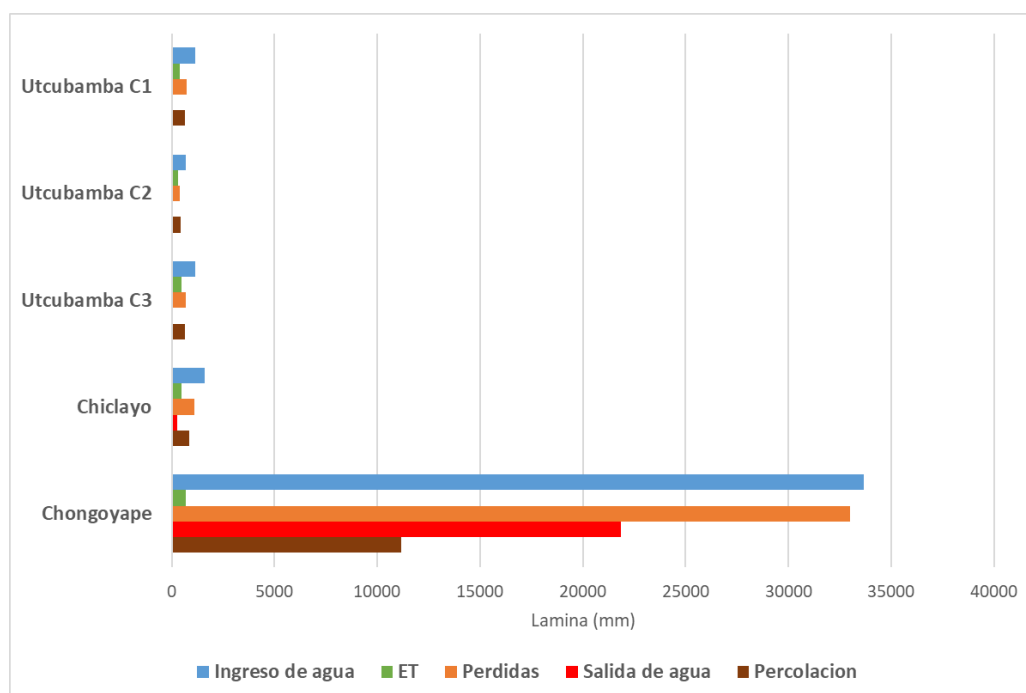


Figura 17. Ingreso de agua y salidas por Evapotranspiración, percolación y pérdidas en la Provincia de Chongoyape.



Evaluaciones realizadas en sistemas productivos de arroz en los principales países productores, estiman pérdidas por percolación cercanas a 200 mm en cada ciclo productivo (Chapagain y Hoekstra, 2011), valores considerablemente menores a los encontrados al realizar mediciones directas en Uctubamba (de 390 a 700 mm), Chiclayo (850 mm) y Chongoyape (11.162 mm).

Huella hídrica azul (HH azul)

La huella hídrica azul está compuesta por los diferentes usos del agua de riego en el sistema (evapotranspiración, incorporación de agua en el producto cosechado, y agua de no retorno), cada uno dividido entre el rendimiento por hectárea con el fin de estandarizar y poder comparar los datos por cada tonelada producida. El agua incorporada en el producto, hace referencia al agua contenida en las toneladas de arroz paddy cosechado, para el presente estudio se encontraron valores de cosecha entre 8,49 y 13,02 ton/ha y valores de contenido de humedad en cosecha entre 15,6% y 24,3%, dependiendo de la Provincia (Ver Tabla 2). Por su parte, el agua de no retorno hace referencia al volumen de agua que se pierde en forma de percolación profunda, ya que es sacada de su curso (fuente superficial) y enviada a profundidad, haciéndola no disponible para otros usuarios.

Al evaluar cada componente se evidencia que en Selva (Uctubamba) la HH azul por evapotranspiración presentó menores valores respecto a costa (Chiclayo y Chongoyape), diferencia marcada principalmente por la menor tasa evapotranspirativa respecto al agua ingresada por riego en Selva, mientras en Costa los valores de evapotranspiración azul fueron significativamente mayores dado el volumen de agua aplicado. Aunque se presentan diferencias entre los valores de cosecha y contenido de humedad cosechado entre cada localidad, el agua de riego que se exporta en el producto es considerablemente bajo respecto a los demás componentes.

La huella hídrica azul por agua que no retorna, también presenta diferencias respecto a la región evaluada, siendo menor en Selva (Uctubamba) dado el menor volumen de agua aplicada por tanto las pérdidas por percolación son menores. El mayor valor se presentó en la Provincia de Chongoyape, diferencias principalmente atribuidas a que en esta Provincia el ingreso de agua de riego fue tan elevado que cerca del 33% del agua se perdió por percolación profunda, de ahí su carácter de pérdida por no retorno.

Como resultado, los valores de HH azul total son menores en el caso de selva, con un pico más bajo en el segundo ciclo productivo, donde la aplicación de agua de riego fue menor y se obtuvo un mayor rendimiento. Al igual que en la evaluación por componentes, la HH azul total fue elevada en el caso de Chongoyape con cerca de 9.076 m³ de agua de riego empleadas en la producción de una tonelada de arroz paddy (Tabla 5 y Figura 18).

Tabla 5. Datos de huella hídrica azul en las Provincias evaluadas.

Componente	Selva			Costa	
	Utcubamba C1	Utcubamba C2	Utcubamba C3	Chiclayo	Chongoyape
Evapotranspiración (m3/ton)	392,6	310,2	344,4	541,2	504,3
Incorporación (m3/ton)	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2
Agua no retornada (m3/ton)	722,5	408,7	681,1	920,8	8564,2
Total HH azul (m3/ton)	1115,2	719,2	1025,6	1462,1	9076,6

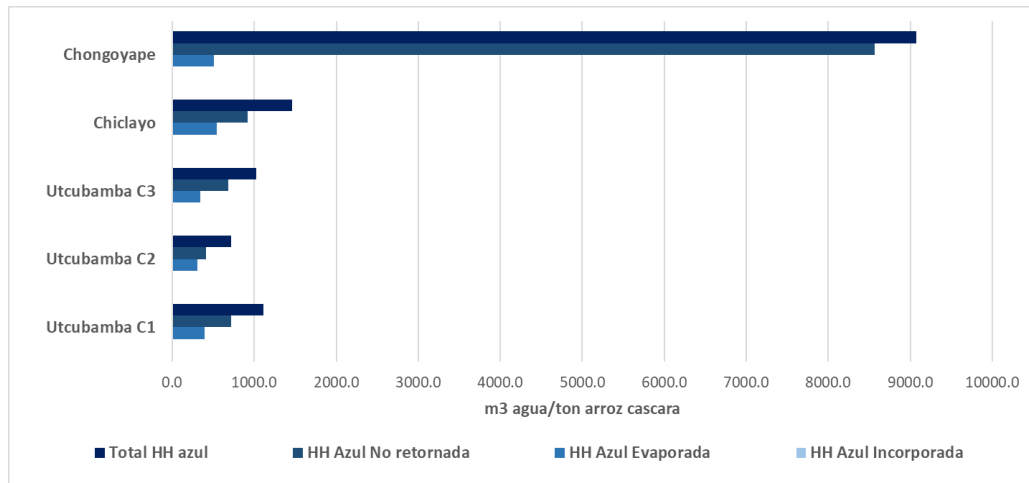


Figura 18. Huella hídrica Azul y componentes en las localidades evaluadas

Como se presentó anteriormente, el análisis de HH azul en el componente de agua no retornada incluye las pérdidas solo por percolación profunda, ya que se cambió el curso del agua haciéndola no disponible para otros usuarios en la cuenca. Ya que el agua de escorrentía superficial (caso Costa) salió del sistema y continuó un curso en canal que pudo ser disponible para otros usuarios en la cuenca, no representó pérdidas por no retorno (en la misma cuenca).

Sin embargo, una aplicación excesiva de agua que resulta en una salida elevada de agua por escorrentía no estaría reflejada en ningún componente de la HH azul, razón por la cual no se podría evaluar la eficiencia de riego su totalidad. Con el fin de reflejar esta posible ineficiencia en los sistemas productivos de riego, fue calculado el indicador de escasez de agua azul (Hoekstra, et al., 2012), el cual refleja la escasez temporal de agua que es extraída de un caudal. El indicador resulta de dividir el agua de riego que no se usó (extraído y retornado a la cuenca, por ejemplo, escorrentía superficial) sobre el rendimiento. De esta forma es posible ver el nivel de ineficiencias de cada lote en términos del riego.

Como consecuencia, el drenaje (o escorrentía superficial) fue considerablemente elevado en la Provincia de Chongoyape, ya que por cada tonelada de arroz paddy producido, entraron y salieron del sistema en forma de escorrentía 16,783 m³ de agua (de un total de 21.852,3 m³ agua/ha). En la Provincia de Chiclayo, por cada tonelada de arroz paddy, se perdió por escorrentía superficial 277 m³ de agua (2.497 m³ agua/ha). Por otro

Alianza



lado, en la provincia de Uctubamba donde no hubo salida de agua por escorrentía ya que el agua que ingresó se mantuvo en la poza, este indicador es de cero, que sumado a HH azul de agua de no retorno, refleja en mayor dimensión la eficiencia de los sistemas evaluados (Figura 19).

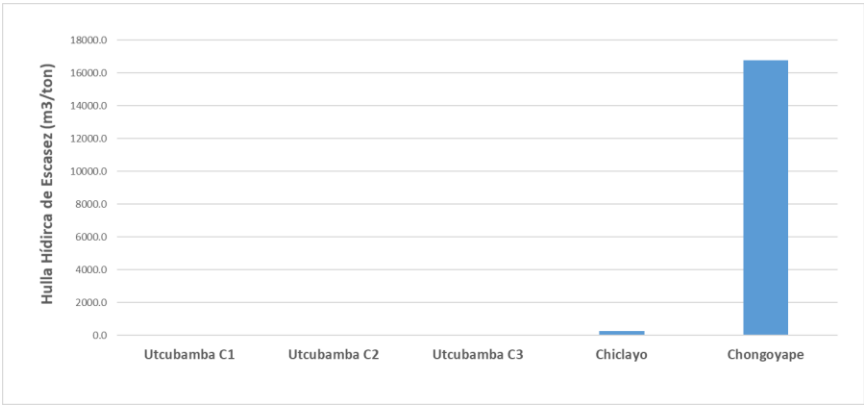


Figura 19. Huella hídrica de Escasez en las localidades evaluadas

Huella hídrica verde (HH verde)

Al igual que en la huella hídrica azul, la HH verde está compuesta por los diferentes usos del agua lluvia en el sistema (evapotranspiración e incorporación de agua en el producto cosechado), cada uno dividido entre el rendimiento por hectárea con el fin de estandarizar y poder comparar los datos por cada tonelada producida.

Al evaluar cada componente se evidenció que en Selva (Uctubamba), la HH verde de la campaña 1 y 3 presentaron mayores valores dada la mayor tasa de precipitación (179 y 156 mm, respectivamente); por su parte, en la campaña 2, la tasa de precipitación fue de solo 14 mm/ciclo. En el caso de costa los valores de evapotranspiración verde fueron menores dada la menor relación agua lluvia/agua riego en la zona, siendo aún más acentuado este comportamiento en Chongoyape. Como resultado, los valores de HH verde total fueron menores en el caso de Costa, con un pico más bajo en Chongoyape, donde la aplicación de agua de riego fue mayor y se obtuvo un mayor rendimiento (Tabla 6 y Figura 20).

Tabla 6. Datos de huella hídrica verde en las Provincias evaluadas.

Componente	Selva			Costa	
	Utcubamba C1	Utcubamba C2	Utcubamba C3	Chiclayo	Chongoyape
Evapotranspiración (m3/ton)	74,1	7,59	142,7	8,26	0,31
Incorporación (m3/ton)	0,03	0,01	0,05	0,002	0,0001
Total HH verde (m3/ton)	74,2	7,6	142,8	8,26	0,31



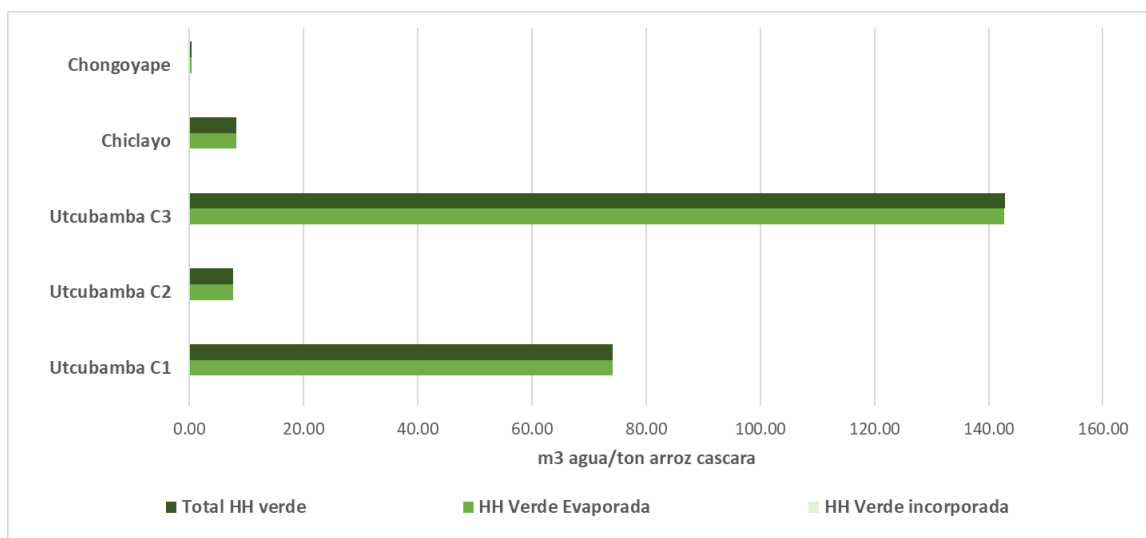


Figura 20. Huella hídrica Verde y componentes en las localidades evaluadas

Huella hídrica gris (HH gris)

La huella hídrica gris representa el volumen de agua requerido para diluir los contaminantes que salen de sistema en forma difusa en el agua de percolación profunda o escorrentía superficial. Estos contaminantes son principalmente residuos de fertilización (nitrógeno y fósforo) y residuos de plaguicidas. Para su determinación el análisis de huella hídrica se hace para cada uno de los componentes y se toma como valor total de huella el componente de mayor tamaño, ya que se considera que este valor reúne la carga contaminante de los demás.

Como se evidencia en la mayoría de casos, el mayor residuo contaminante fue causado por la fertilización nitrogenada, exceptuando el caso de la campaña 3 de Utcubamba, donde la fertilización fosforada fue el mayor contaminante. Los datos de huella gris presentaron amplias diferencias debido a los manejos contrastantes entre parcelas. Para la zona Selva, los datos de HH gris estuvieron entre 332 y 1.509 m³/ton. La primera campaña presentó la mayor HH gris, lo cual estuvo directamente relacionado por una alta aplicación de fertilizantes nitrogenados (ver Tabla 2). Por su parte, la campaña 2, que obtuvo la menor HH gris, se destacó por un uso más bajo de plaguicidas y un mayor rendimiento, por consiguiente, se obtuvo una reducción de 78 y 49% con respecto a las campañas 1 y 3, respectivamente (Tabla 7 y Figura 21).

Tabla 7. Datos de huella hídrica gris en las provincias evaluadas.

Componente	Selva			Costa	
	Utcubamba C1	Utcubamba C2	Utcubamba C3	Chiclayo	Chongoyape
Nitrógeno (m³/ton)	1509,2	332,5	332,6	1047,9	963,5
Fósforo (m³/ton)	1178,0	289,2	655,1	432,4	709,8
Pesticidas (m³/ton)	184,5	243,1	89,4	206,2	83,5
Total (m³/ton)	1509,2	332,5	655,1	1047,9	963,5

Alianza



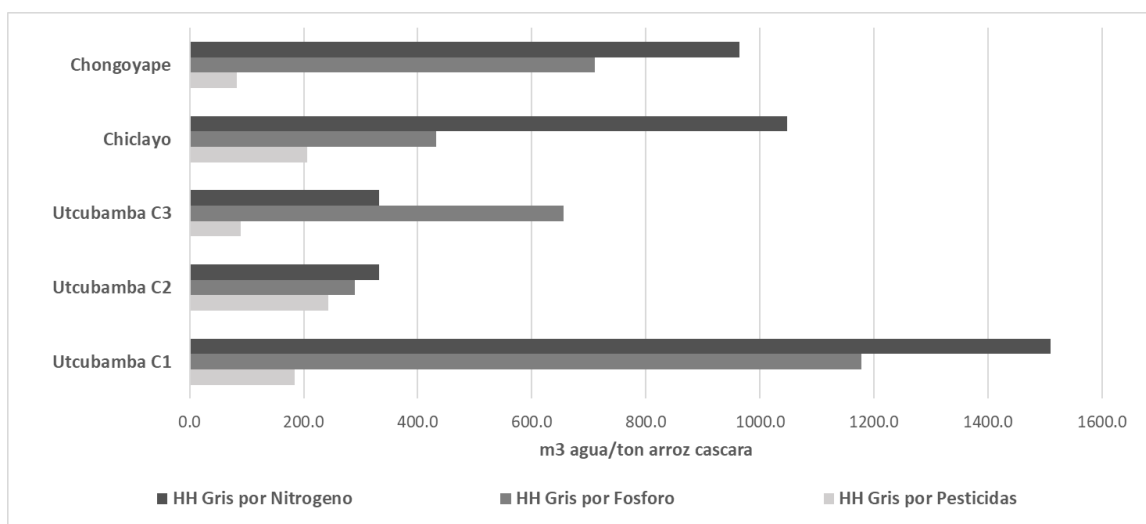


Figura 21. Huella hídrica Gris y componentes en las localidades evaluadas

Huella hídrica total

Dado los resultados anteriores, en la tabla 8 y las figuras 22 y 23 se presentan consolidados los valores de huella hídrica total dividida en sus componentes azul, verde y gris, más el indicador adicional de escasez de agua.

Tabla 8. Datos de huella total para la producción de arroz paddy.

Componente	Selva			Costa	
	Utcubamba C1	Utcubamba C2	Utcubamba C3	Chiclayo	Chongoyape
HH azul (m3/ton)	1115,2	719,2	1025,6	1462,1	9076,6
HH verde (m3/ton)	74,2	7,6	142,8	8,2	0,3
HH gris (m3/ton)	1509,2	332,5	655,1	1047,9	963,5
HH escasez (m3/ton)	0	0	0	277,3	16783,7
Total HH (m3/ton)	2698,6	1059,2	1823,6	2795,7	26824,1

Alianza



RESEARCH PROGRAM ON
Climate Change,
Agriculture and
Food Security



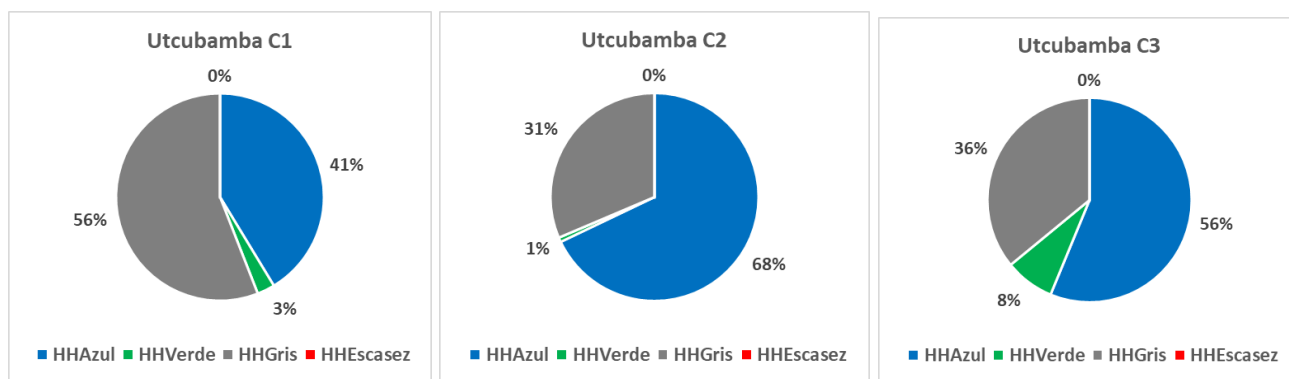


Figura 22. Huella hídrica total para la producción de arroz paddy en la Provincia de Selva en Utcubamba.

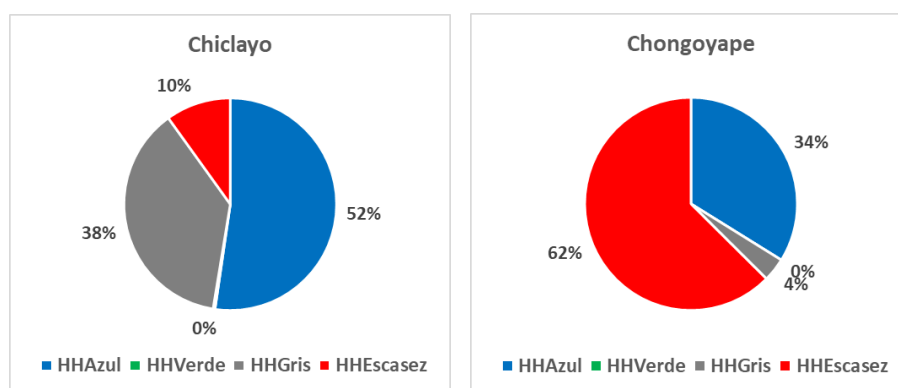


Figura 23. Huella hídrica total para la producción de arroz paddy en las Provincia de Costa de Chiclayo y Chongoyape.

A nivel mundial se estima que la HH del arroz es de aproximadamente 1.325 m³/t correspondiendo el 48% a HH verde, 44% a HH azul y 8% HH gris (Chapagain & Hoekstra, 2011). En Chile, Uribe y Riquelme (2015) indican que la huella hídrica del cultivo de arroz es de 953 a 1.225 m³/ton compuesta en su mayoría por HH azul (entre 726 y 1.145 m³/ton). En Brasil, Chapagain y Hoekstra (2011) estiman que la producción de una tonelada de arroz requiere cerca de 1.521 m³ de agua. En Argentina la huella hídrica se estimó entre 846 y 987 m³/ton de los cuales del 36% al 44% correspondió a HH verde mientras que del 56% al 64% correspondió a HH azul (Marano y Filippi, 2015). Para el caso en específico en Perú, en la literatura se encontró el valor de huella hídrica estimado en de 6.496 m³/ton arroz paddy (Fonseca *et al.*, 2012). Al observar los datos por región, en las provincias de Costa la HH estimada fue de 3.797,75 y 3.536,89 m³/ton (Chongoyape y Chiclayo respectivamente), mientras que para el caso de Selva (Utcubamba) el total de la huella fue de 3.961,44 m³/ton (Fonseca *et al.*, 2012).

En el caso de la HH verde se reportan valores diferenciales en las regiones, en el caso de Caso de Chongoyape y Chiclayo la HH verde se estimó en 0,8 y 0,35 m³/ton respectivamente, mientras que, en el caso de Utcubamba la huella verde se estimó en 251,8 m³/ton (Fonseca *et al.*, 2012). Mekonnen y Hoekstra (2010), estiman valores

de HH verde cercanos a 181 m³/ton en Lambayeque mientras que en Amazonas estiman una HH verde de 611 m³/ton. Estas diferencias son atribuidas principalmente al régimen de precipitación en cada región.

Las marcadas diferencias entre los estudios previamente reportados radican en las bases de datos de precipitación y rendimiento empleadas en sus estimaciones. Adicional, los cálculos de HH azul son estimados del balance de humedad, donde el uso de agua por irrigación corresponde al diferencial de la evapotranspiración del cultivo y lo aportado por agua lluvia, de esta forma se considera la irrigación efectiva y no permite identificar posibles pérdidas por riego.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Según los resultados presentados, existe una clara diferencia entre las estrategias de manejo de agua en las localidades. En Utcubamba, donde el manejo de agua se realiza en pozas cerradas sin salida de agua, la necesidad de lámina es considerablemente menor respecto a Chiclayo donde el volumen de agua aplicado puede ser superior en un 40% y se obtienen rendimientos similares. En el caso de la localidad de Chongoyape, aunque el mayor rendimiento puede estar asociado a una mayor disponibilidad de agua, la aplicación de hasta 30 veces más volumen de agua respecto a las demás provincias genera una tasa de pérdida de hasta el 98% en percolación profunda y escorrentía superficial, y solo el 2% del agua aplicada es usada en el proceso de evapotranspiración.

Ya que el agua que sale del sistema por escorrentía superficial es el principal punto crítico de pérdidas, las estrategias de para un uso eficiente de agua en el cultivo de arroz deben encaminarse a la adecuación del terreno para retener mayor cantidad de agua en el lote.

Al ver los datos de irrigación de Utcubamba se evidencia que, a pesar de tener el agua retenida en las pozas, la percolación profunda juega un papel determinante en la tasa de pérdida, esto debido al diseño del sistema para mantener la lámina adecuada. La implementación de lámina de agua en el cultivo exclusivamente en las épocas requeridas por el cultivo, va a limitar el riego y por tanto la pérdida por percolación profunda.

Un tercer punto crítico es la contaminación de fuentes de agua superficiales y profundas por la lixiviación de residuos de fertilizantes y plaguicidas, los primeros con un mayor impacto en los sistemas evaluados. Según los resultados los altos valores de contaminación se atribuyen a fertilizantes nitrogenados, por tanto, las prácticas que permitan un uso eficiente de los mismos, van a resultar en menor impacto en cuerpos de agua.

Sobre estos tres puntos críticos se sugieren las siguientes prácticas de manejo para mitigar los impactos en el uso del agua por el cultivo:

Suministro controlado y monitoreo de riego

La reducción del uso de agua en los sistemas productivos de arroz requiere de la implementación de mecanismos y herramientas que permitan controlar y monitorear el ingreso y salida del agua en las parcelas,



con el fin de determinar el desempeño del riego. En la actualidad, con el uso de nuevas tecnologías, algunas de las herramientas que se han propuesto incorporan el uso de sistemas de información geográfica (SIG) y agricultura de precisión. El uso de herramientas como Arcgis proporcionan en tiempo real información de la uniformidad en la distribución del agua en el lote, y a su vez permite determinar la existencia de déficits o excesos para ser corregidos en los próximos periodos del cultivo (Amin *et al.*, 2011).

Diseño de sistemas productivos más eficientes.

En los sistemas productivos, los productores pueden implementar diferentes acciones que permitirán un uso más eficiente del agua. Por ejemplo, una adecuada preparación de suelo, incluyendo las labores de labranza y la nivelación laser, puede generar una reducción significativa en el uso del agua como es el caso de la tecnología AMTEC en Colombia. AMTEC (Adopción Masiva de Tecnología) es un programa que incluye labores de campo tales como adecuación de suelos con landplane, caballones con nivelación laser y manejo controlado del caudal de entrada. Evaluaciones realizadas comparando los sistemas tradicionales versus los sistemas con AMTEC han indicado que con la utilización de estas prácticas se puede alcanzar un ahorro de hasta 42% de agua de riego. Esta reducción junto a los incrementos de la producción refleja una reducción de la HH del 39% (1327 m3/ton en AMTEC y 2164 m3/ton en sistema tradicional) (Romero *et al.*, 2016).

De igual forma, es importante la conformación y adecuación de canales de riego, especialmente en las regiones donde el ingreso de agua se realiza sin intermitencias. Realizar esto en los lotes mejorará la entrada y salida del recurso hídrico, incrementando la eficiencia del uso del agua, además de reducir la eliminación por efecto de la escorrentía de nutrientes.

Programación adecuada del riego

El riego fraccionado es otra práctica que ha mostrado incrementos en la eficiencia del uso del agua, no solo al reducir su uso, si no, también al incrementar el rendimiento, disminuyendo así el indicador de huella hídrica. Trabajos previos en Cuba, evaluaron plantas que permanecieron en condiciones inundadas durante todo su ciclo y plantas que se sometieron a suspensión de la lámina de agua por un periodo de 15 días en tres momentos diferentes de la etapa de ahijamiento. La suspensión de la lámina de agua incrementó el rendimiento agrícola entre un 16 y 32 %, con respecto al control inundado y el rendimiento industrial fue de un 67 %. Los porcentajes mayores de granos enteros se lograron en los tratamientos sometidos a suspensión de la lámina, alcanzándose los mejores resultados con la suspensión a los 30 DDT. Este manejo permitió un ahorro de agua aproximadamente de 1931,4 m3/ha, respecto al tratamiento inundado (Ruiz *et al.*, 20019).

Uso racional de fertilizantes

El componente de huella gris es el segundo de mayor importancia en la evaluación de huella hídrica para el arroz en las zonas evaluadas, siendo especialmente el uso de fertilizantes nitrogenados uno de los procesos que generó mayor impacto. Una de las estrategias es encontrar alternativas de manejo que mejoren la eficiencia de la fertilización, tales como el manejo de la fertilización con base en el análisis de los suelos, el

fraccionamiento de las aplicaciones, el uso de materiales recubiertos de lenta liberación, la incorporación de especies fijadoras de nitrógeno en rotación, entre otras.

Así mismo, por la alta contribución que tienen los plaguicidas en el componente de huella gris, también se deben realizar prácticas en el cultivo para reducir las aplicaciones. Algunas de las alternativas es emplear los umbrales de acción para la toma de decisiones en cuanto a aplicaciones, mantener las dosis recomendadas.

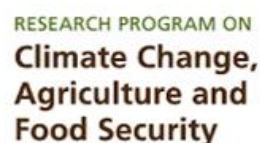
Uso racional de plaguicidas

La contaminación del agua por la aplicación de plaguicidas está dada por el potencial de lixiviación que presentan los productos. Este potencial depende especialmente de dos propiedades que presentan todos los plaguicidas, el Koc y el DT50. El coeficiente de partición suelo-agua denominado Koc es un indicador de la capacidad de absorción de una sustancia al suelo con respecto al agua, mientras que el DT50 es una medida del tiempo que se requiere para que el 50% de un compuesto desaparezca del suelo o del agua por degradación, ya sea biológica (biodegradación) y fisicoquímica (hidrolisis, fotólisis, etc.) (FAO, 2000). Una de las prácticas que los técnicos y productores pueden realizar es la identificación y selección de plaguicidas con bajo riesgo de lixiviación, a partir de estas dos propiedades. En general, este riesgo decrece si el DT50 es menor, y el Koc incrementa (Branford *et al.*, 2018). Un Koc bajo indica que la concentración del pesticida es mayor en la solución del suelo por lo que es más probable que se lixivie. Así mismo, la lixiviación es más lenta cuando el suelo presenta altos contenidos de materia orgánica que en suelos con menor contenido (FAO,2000).

Una de las estrategias a considerar para reducir el componente de huella gris en los sistemas agrícolas es la incorporación de materiales como harina de corteza de plátano, biochar, etc., los cuales permiten reducir la carga contaminante al remover y/o absorber los ingredientes activos lixiviados. Pueden presentar una alta capacidad de absorción, buena moldeabilidad y capacidad de recuperación, insensibilidad a las sustancias tóxicas y ser fáciles de utilizar. Estudios a nivel de laboratorio han determinado que la harina de plátano tiene la capacidad de eliminar gran cantidad de atrazina, diurón y dimetoato (99.6%, 96,7% y 64.4% respectivamente); por su parte el té gastado tiene la capacidad de eliminar el cloropirifos y el imidacloprid. A partir de este alto potencial de remoción, es importante determinar la manera correcta de la disposición de estos materiales y hacer pruebas en cultivos comerciales Beheary *et al.* (2018).

BIBLIOGRAFÍA

- Altamirano L. 2018. Rendimiento del cultivo de arroz con sistema de riego por goteo en la Molina. UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA. FACULTAD DE INGENIERIA AGRÍCOLA. 102 p.
- Amin M., Rowshon M., Aimrun W. 2011. Paddy water management for precision farming of rice. Current Issues of Water Management. InTech, 107-142.
- Beheary M., El-Matary F., El-Hamid H., and Al-Tawaha A. 2018. Removal of Some Pesticides from Contaminated Water Using Low Cost Materials. Advances in Environmental Biology, 12(7), 1-6.



- Bernex, N., Apaéstegui J., Peña F., Yakabi K., Zúñiga A., Asto L., Verano C., Bauer J., Castro J., Chung B., Gastañaga M., Sánchez C., Espinoza J., Güimac M., Tamariz A., Rosazza E., Robert J., Guyot J., Pastor J. 2017. El Agua en el Perú: Situación y Perspectivas. Instituto Científico del Agua.
- Branford P., Jackson M. and Rhodes J. 2018. Identification of pesticides with a low risk of leaching to groundwater. Ministry of the Environment and Food of Denmark.
- BID. 2020. EL AGUA EN LA AGRICULTURA. En: <https://www.bancomundial.org/es/topic/water-in-agriculture>.
- Chapagain A. and Hoekstra A. 2011. The blue, green and grey water footprint of rice from production and consumption perspectives. *Ecological Economics*, 70(4), 749-758.
- FAO. 2000. Assessing soil contamination: A reference manual. Food And Agriculture Organization Of The United Nations, Rome.
- FAO. 2006. Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos.
- FAO 2015. AQUASTAT Perfil de País - Perú. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Roma, Italia.
- Fonseca S., Verano Z. and Mariluz S. 2012. Huella hídrica del arroz. *ANA, Perú*.
- Franke N., Boyacioglu H. and Hoekstra A. 2013. Grey Water Footprint Accounting: Tier 1 supporting guidelines, Value of Water Research Report Series No. 65.
- Gómez Pando L., Soplín Villacorta H. Sosa Peralta G. and Heros Aguilar E. 2017. Siembra directa: una alternativa para mejorar la sustentabilidad del cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) en el Perú. *Producción Agropecuaria y Desarrollo Sostenible*, 6, 13-26.
- Hoekstra A., Chapagain A., Aldaya M. and Mekonnen M. 2011. The water footprint assessment manual: Setting the global standard, London: Routledge.
- Hoekstra A. and Hung P. 2002. Virtual water trade. A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade. Value of water research report series, 11, p.166.
- Hoekstra A., Mekonnen M., Chapagain A., Mathews R., and Richter B. 2012. Global Monthly Water Scarcity: Blue Water Footprints versus Blue Water Availability. *PLoS ONE*, 7(2), e32688. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0032688>
- Marano R. and Filippi R. 2015. Water Footprint in paddy rice systems. Its determination in the provinces of Santa Fe and Entre Ríos, Argentina. *Ecological indicators*, 56, 229-236.
- Mekonnen M and Hoekstra A. 2010. *The green, blue and grey water footprint of farm animals and animal products - Volume 2: Appendices*, Available at: <http://www.waterfootprintnetwork.org/Reports/Report47-WaterFootprintCrops-Vol1.pdf>.
- Mekonnen M and Hoekstra A. 2010. The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. Value of Water Research Report Series No. 47, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands. <http://www.waterfootprint.org/Reports/Report47-WaterFootprintCrops-Vol1.pdf>
- MINAGRI. 2018. Informe Coyuntura arroz.

Alianza



- Organización de las Naciones Unidas, 2014. Un Objetivo Global para el Agua Post-2015: Síntesis de las Principales Conclusiones y Recomendaciones de ONU-Agua,
- Romero M., Quintero M., Monserrate F. 2016. Elementos técnicos para la medición de huella hídrica en sistemas agrícolas. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, CO. 52 p. (Publicación CIAT No. 419).
- Ruiz-Sánchez M., Muñoz-Hernández Y., y Polón-Pérez R. 2016. Manejo del agua de riego en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) por trasplante, su efecto en el rendimiento agrícola e industrial. Cultivos Tropicales, 37(3), 178-186.
- Uribe y Riquelme. 2015. Huella de arroz en Chile. En: M. Paredes, V. Becerra, (eds.). Manual de producción de Arroz: Buenas prácticas Agrícolas. Santiago, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA N° 306. 100 p.